

prof. Andrzej Ubysz
Politechnika Wrocławska
Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego
Katedra Konstrukcji Budowlanych

Wpłynęło
Młoda Wydziału WILIS
16.01.2026
38
Lubiniński

Wrocław, 05.01.2025 r.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Marcina Burdzińskiego

Doświadczalno-numeryczna analiza wpływu skrępowania pręta zbrojeniowego w betonie na zachowanie przyczepności w teście pull-out

1. Informacje wstępne

Recenzję rozprawy doktorskiej mgr inż. Marcina Burdzińskiego pt.: *Doświadczalno-numeryczna analiza wpływu skrępowania pręta zbrojeniowego w betonie na zachowanie przyczepności w teście pull-out* opracowano na podstawie Uchwały Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Gdańskiej nr 97/2025 z dnia 05.11.2025 roku oraz w zw. z art. 187 Ustawy Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce z dnia 20 lipca 2018 roku (Dz. U. z 2024 roku poz. 1571, z późniejszymi zmianami). Promotorem pracy doktorskiej jest profesor uczelni, Politechniki Gdańskiej, dr hab. inż. Maciej Niedostatkiwicz..

Recenzja dotyczy merytorycznej oceny treści zawartej w wyżej wymienionej rozprawie doktorskiej.

2. Ogólna charakterystyka pracy

Praca dotyczy tematu w dziedzinie nauk technicznych: *budownictwo*, dyscyplinie naukowej: *inżynieria lądowa i transport* oraz specjalności: *konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone*. Rozprawa podejmuje tematykę wpływu wybranych czynników na zjawisko przyczepności betonu do stalowych prętów zbrojeniowych. Autor podjął się rozwinięcia tematyki dotyczącej współpracy betonu i zbrojenia, koncentrując się w szczególności na ocenie sprzężonego wpływu czynników determinujących skrępowanie: lokalizacji pręta, jego średnicy oraz długości zakotwienia. Analiza doświadczalna wykazała, że parametry te wpływają na mechanizm zniszczenia i charakterystykę krzywej przyczepność-poślizg.

Praca nawiązuje do istniejących teorii opisujących tą współpracę na poziomie modeli fenomenologicznych i obliczeniowych oraz badań doświadczalnych. Autorska część pracy, to

przede wszystkim część eksperymentalna zawierająca elementarne badania materiałowe betonu i stali oraz interakcja między nimi w realnych stanach naprężeń i odkształceń oparta głównie na wynikach otrzymanych z testu pull-off. Dalsza część pracy to analizy numeryczne oparte na modelach materiałowych i dążące do sformułowania własnego modelu obliczeniowego pozwalającego na analizę złożonego stanu naprężeń i odkształceń.

Do modelu obliczeniowego wykorzystano program *Abaqus*, w którym przyjęto model betonu plastycznego ze zniszczeniem. Współpracę betonu i stali modelowano powierzchnią kohezyjną oraz przez jawne odwzorowanie geometrii żeber. Pokazano także, jak skalibrowany model kohezyjny wpływa na zgodność z rezultatami otrzymanymi badań doświadczalnych.

3. Ocena poszczególnych rozdziałów

W kolejnych rozdziałach przedstawiono w usystematyzowanej formie kolejne etapy pracy doktorskiej.

W rozdziale 1 sformułowano główny cel pracy, którym jest pokazanie, w jaki sposób czynniki związane ze skrupowaniem pręta w betonie:

- grubość betonowego otulenia zbrojenia wynikająca z różnych lokalizacji pręta w bloku,
- średnica pręta,
- długość zakotwienia

wpływają na zachowanie przyczepności w teście pull-out. Autor dysertacji wykazuje, że sprzężenie tych czynników, a nie rozpatrywanie każdego z osobna, jest decydujące w analizie ich współpracy. Rezultaty otrzymane z eksperymentu przyjęto jako punkt wyjścia do modelowania numerycznego, który jest kolejnym celem pracy.

Jako ważny element w części badawczej słusznie uznano identyfikację oraz eliminację błędów, które mogą wystąpić na etapie przygotowywania próbek badawczych.

Przedstawione tezy są w zasadzie zwięzłym powtórzeniem celów pracy.

W rozdziale 2 przybliżono podstawowe pojęcia związane z analizą przyczepności oraz czynniki wpływające na to zjawisko. Szczegółowo omówiono mechanizm przyczepności, a także przedstawiono dostępne w literaturze modele przyczepności stosowane w analizach teoretycznych i numerycznych. W rozdziale tym zwraca uwagę staranny przegląd wiedzy w tematyce współpracy betonu i zbrojenia pokazujący tą problematykę od badań historycznych, poprzez początki tworzenia zapisów Eurokodu (m.in. Eligehausen) po współczesne redakcje

normatywów europejskich. Autor wykazał się też znajomością polskich badań, szczególnie w ostatnich latach.

Rozdział trzeci stanowi w pewnym sensie kontynuację rozdziału drugiego, który nie kończył się klasycznym podsumowaniem stanu wiedzy i wskazaniu na tej podstawie obszaru własnych badań. W pracy rolę tę przejął rozdział trzeci, w którym Autor – nawiązując do przeglądu literatury – przedstawia własny plan badawczy zawierający motywację oraz zakres badań analitycznych i numerycznych w wybranej tematyce.

Kolejne dwa rozdziały zawierają autorskie badania i analizy doświadczalne i numeryczne. Rozdział czwarty dotyczy analizy doświadczalnej przeprowadzonej w ramach badań. Doktorant wyznaczył podstawowe cechy fizyczne materiałów wykorzystywanych do badań:

- dla betonu:
 - wytrzymałość na ściskanie na kostkach;
 - wytrzymałość na ściskanie na walcach;
 - wytrzymałość na rozciąganie przy rozłupywaniu na kostkach;
 - moduł sprężystości wg PN i Eurocodu 2;
- dla stali:
 - granica plastyczności,
 - wytrzymałość na rozciąganie,
 - ciągliwość,
 - charakterystyczne odkształcenie przy maksymalnej sile,
 - moduł sprężystości

W przypadku betonu badania poprzedziło opracowanie (częściowo doświadczalne) receptury mieszanek betonowych. W tym rozdziale zawarto szczegółowe raporty z badań. Analiza wyników (określenie współczynnika zmienności i odchylenie standardowe) ma, ze względu na małą liczbę próbek, charakter szacunkowy.

W test pull-out zwraca uwagę oryginalność i staranność w przygotowaniu elementu badawczego przed i podczas zabetonowywania symulująca realne warunki współpracy betonu i zbrojenia.

W rozdziale piątym opisano przeprowadzoną analizę numeryczną, będącą w korelacji z wynikami badań doświadczalnych. Przedstawiono modele materiałowe wykorzystane w symulacjach numerycznych oraz szczegółowo omówiono sposoby modelowania zjawiska przyczepności w środowisku obliczeniowym. W podsumowaniu rozdziału dokonano weryfikacji modelu numerycznego z wynikami badań doświadczalnych.

Szósty rozdział zawiera wnioski końcowe wynikające z przeprowadzonych eksperymentów laboratoryjnych i numerycznych. Rozbudowany program doświadczalny pozwolił na sformułowanie kilku wniosków, w jaki sposób czynniki związane ze skrępowaniem pręta w betonie, takich jak grubość betonowego otulenia zbrojenia wynikająca z różnych lokalizacji pręta w bloku, średnica pręta, czy długość zakotwienia wpływają na zachowanie przyczepności w teście pull-out. Doktorant zwrócił między innymi uwagę na to, że sprzężenie tych czynników, a nie rozpatrywanie każdego z osobna, jest decydujące w analizie ich współpracy.

Syntetycznie sformułowane wnioski stanowią zwięzłą weryfikację tez pracy oraz zawierają wyniki obserwacji zróżnicowanych mechanizmów pracy na styku pręt-beton, a także identyfikację wszystkich możliwych typów zniszczenia przyczepności oraz wpływu lokalizacji pręta i stopnia jego skrępowania – wyrażonego stosunkiem grubości otuliny do średnicy pręta.

We wnioskach dotyczących modelowania numerycznego Doktorant dokonał symulacji danych, niemożliwych do uzyskania na drodze empirycznej. Wskazał również na wniosek negatywny, że zastosowanie nadmiernie uproszczonej geometrii żeber prowadzi do uzyskania wyników znacznie odbiegających od danych eksperymentalnych oraz od rezultatów symulacji z modelem o geometrii rzeczywistej.

Ostatni siódmy rozdział dotyczy kierunków planowanych dalszych badań, które bezpośrednio korespondują z planem badawczym opisanym w rozdziale trzecim, wskazując na możliwości kontynuacji i rozszerzenia prowadzonych analiz.

4. Merytoryczna ocena pracy

Przegląd stanu wiedzy został wykonany w szerokim spektrum. W większości prac technicznych najmocniejszym argumentem do udowodnienia tezy jest doświadczalne potwierdzenie oczekiwanych wyników. W opracowaniach naukowych często najważniejszym segmentem dysertacji jest precyzyjnie sformułowanie zagadnienia i opracowanie modelu, który mógłby zostać weryfikowany doświadczalnie. Uważam, że Doktorantowi udało się bardzo dobrze wykonać oba te zadania. Doświadczenia innych Autorów oraz własne, na których oparto analizę a także sformułowanie własnego modelu obliczeniowego stanowią przekonującą podstawę zarówno dowodzącą tezy, jak i pozwalającą sformułować końcowe wnioski przedstawione w niniejszej pracy.

Doktorant rozwinął tematykę dotyczącą współpracy betonu i zbrojenia, w szczególności na ocenie sprzężonego wpływu czynników determinujących skrępowanie: lokalizacji pręta, jego średnicy oraz długości zakotwienia. W dysertacji pokazano:

- najistotniejsze parametry, które wpływają na mechanizm zniszczenia;
- analizę charakterystyki krzywej przyczepność-poślizg;
- opracowany na bazie danych doświadczalnych model numeryczny pozwalający przy prawidłowych założeniach na analizę wpływu skrępowania pręta zbrojeniowego w betonie na zachowanie przyczepności.

Sposób sformułowania zadania badawczego, przeprowadzony eksperyment i analiza numeryczna, a także wnioski ujmujące zwięźle osiągnięcia w pracy i przedstawione zamierzenia badawcze w tej tematyce dowodzą dobrego przygotowania doktoranta do pracy naukowej. Tematyka dotycząca współpracy betonu i stali jest ciągle otwarta zarówno dla istniejących, jak i dla nowych klas materiałów. Ma ona praktyczne zastosowanie w pracach projektowych i z pewnością należy do zagadnień kreujących dalsze kierunki dyscypliny naukowej. Autor pokazuje zaznajomienie się z tą tematyką na poziomie aktualnej bibliografii, w tym z publikacjami naukowymi i normatywami oraz – co najważniejsze – udowadnia, że potrafi samodzielnie przeprowadzać analizy badawcze i wyciągać konstruktywne wnioski. Problematyka, podjęta przez Doktoranta, którą rozwija jako temat rozprawy doktorskiej, nie jest całkowicie nowa, ale sposób sformułowania zadania badawczego i wyciągnięta wnioski można uznać, jako merytorycznie nowy wkład do dyscypliny *Konstrukcje żelbetowe*.

Powiązany z merytoryczną oceną pracy jest dorobek naukowy prezentowany w zagranicznych czasopismach z IF oraz uznanych czasopismach krajowych.

5. Szczegółowe uwagi polemiczne i krytyczne do pracy

1. Dlaczego Autor uznał: *Eliminację potencjalnych błędów związanych z budową próbek i stanowiska badawczego oraz sposobu prowadzenia badania* jako najważniejszą tezę (bo wymienioną jako pierwsza) swojej dysertacji, skoro powinien to być warunek *sine qua non* dla każdej pracy naukowej zarówno badawczej, jak i teoretycznej (z wyjątkiem sytuacji, że błędy są przedmiotem takiej pracy).
2. We wzorze (2.1) i (2.2) błąd redakcyjny –
 $(\sigma_s + d\sigma_s) \cdot 0.25\pi d_b^2 - \sigma_s \cdot 0.25\pi d_b^2 = -\pi d_b \cdot dx \cdot \tau_b$
 $d\sigma_s \cdot 0.25\pi d_b^2 = -\pi d_b \cdot dx \cdot \tau_b$
Wyrażenie po prawej stronie powinno mieć znak „+”.

3. W tabelach 4.11, 4.12 zapis wyników z badań jest trochę niestaranny (np. granice plastyczności dla próbki 41 i 81 wynoszą odpowiednio 6373,1 i 2,4851 ? lub moduł sprężystości 8,6821 ? ; zapisywanie wyników z różną dokładnością etc.).
4. Dyskusyjne wydaje się przeniesienie rysu historycznego testu pull-out do rozdziału opisującego część badawczą 4.2. Z jednej strony łączy się on z tym rozdziałem tematycznie, z drugiej logiczne wydaje się umieszczenie przed rozdziałem zawierającym plan badań.
5. Rysunek 4.27 (str.107) – w legendzie opisano krzywą z pomiaru ekstensometrem (kolor zielony), której faktycznie nie ma.

Pytanie 1: Jak Doktorant rozumie pojęcie resztkowe naprężenia styczne (sens fizyczny, ilustracja).

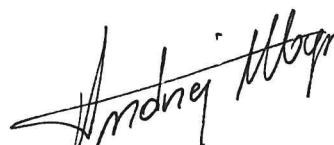
Pytanie 2: Które parametry w modelu numerycznym wykazują największą wrażliwość przy analizie stanu naprężeń ?

Pytanie 3: Czy można ten model skorelować z innymi programami do obliczania naprężeń w elementach jednorodnych (np. czy można modelować naprężenia w belce betonowej ze zbrojeniem w fazie zarysowanej)?

6. Uwagi końcowe

Mając na uwadze sformułowanie tematu i sposób jego przedstawienia w rozprawie doktorskiej, które wskazują na bardzo dobre merytoryczne przygotowanie Doktoranta, a także prezentowanie wyników badań w czasopismach naukowych (łącznie 13 publikacji w tym czasopiśmie indeksowane w bazie WoS JCR z $IF > 3$ oraz z listy MNiSW z punktacją 100), i docelowe zastosowania praktyczne przedstawionych wniosków, wnoszę o dopuszczenie Pana mgr inż. Marcina Burdzińskiego do publicznej obrony oraz stosownie do zasad przyjętych przez Radę Wydziału ewentualne wyróżnienie pracy.

Praca spełnia wymagania odnośnie prac doktorskich zawarte w Ustawie o stopniach naukowych i tytule naukowym i tytule w zakresie sztuki (Dz. U., z dnia 14.03.2003 roku, Nr 65 poz. 595, z późn. zm.) oraz Rozporządzenia Ministra Edukacji Narodowej i Sportu (Dz. U., z dnia 15.01.2004 roku, Nr 15 poz. 128, z późn. zm.).



Andrzej Ubysz